

Fenolik Bileşikler: Fonksiyonel Gıdalardaki Rolü ve Sağlık Faydaları

Hilal Yılmaz¹

Özet

Bu bölüm, fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıdalardaki rolünü, sağlık üzerindeki etkilerini ve gıda bileşenleriyle etkileşim mekanizmalarını bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır. Fenolik bileşiklerin bitkilerde doğal olarak sentezlendiği, çevresel stres faktörlerine karşı koruyucu görev üstlendiği ve gıdaların renk, aroma ve lezzet profillerine katkı sağladığı vurgulanmaktadır. Flavonoidler, fenolik asitler, tanenler, stilbenler ve lignanlar başta olmak üzere temel fenolik sınıflar ayrıntılı biçimde tanıtılmakta; bu sınıfların antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal, kardiyovasküler ve antikanser etkileri bilimsel bulgular ışığında değerlendirilmektedir.

Bölümde ayrıca fenolik bileşiklerin proteinler, lipitler ve karbonhidratlar gibi gıda makromolekülleri ile etkileşimleri ele alınmakta; bu etkileşimlerin gıdanın fonksiyonelliği, stabilitesi ve biyoyararlanımı üzerindeki etkileri tartışılmaktadır. Protein–fenolik bileşik komplekslerinin çözünürlük ve yapı değişimlerine neden olabileceği, lipitlerle etkileşimlerin ise oksidatif stabiliteyi artırdığı belirtilmektedir. pH, sıcaklık, iyonik kuvvet ve çözücü ortamı gibi çevresel faktörlerin bu etkileşimleri doğrudan etkilediği vurgulanmaktadır.

Ayrıca meyve, sebze, tahıllar, baklagiller, yağlı tohumlar, çay, kahve, kakao ve süt ürünlerindeki fenolik bileşik profilleri sunulmakta; gıda işleme tekniklerinin fenolik stabilite üzerindeki etkileri irdelenmektedir. Son olarak, mikroenkapsülasyon ve nanoteknoloji temelli yaklaşımlar gibi yenilikçi yöntemlerin fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıdalardaki etkinliğini artırma potansiyeli tartışılmakta ve gelecekteki araştırma yönelimleri ortaya konmaktadır.

1 Doç. Dr., Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Bartın, Türkiye, hilalyilmaz@bartin.edu.tr, 0000-0002-0399-355X

1. Fenolik Bileşiklerin Tanımı ve Genel Özellikleri

Fenolik bileşikler, bitkilerde doğal olarak bulunan ve bir veya daha fazla fenol halkası içeren kimyasal bileşiklerdir. Bu bileşikler, bitkilerin savunma mekanizmalarının bir parçası olarak sentezlenir ve çevresel stres faktörlerine, ultraviyole ışığa, patojenlere ve otçullara karşı koruma sağlar (Durazzo vd., 2019). Fenolik bileşikler, bitkisel gıdaların renk, aroma ve lezzet gibi duyuşal özelliklerini belirlemede önemli rol oynar (Harnly, Bhagwat, ve Lin, 2007).

Fenolik bileşikler, gıda ve sağlık alanında giderek daha fazla ilgi gören biyoaktif bileşiklerdir. Özellikle antioksidan özellikleri sayesinde, oksidatif stresin neden olduğu hastalıklara karşı koruyucu etkileri olduğu bilinmektedir (Graf, Milbury, ve Blumberg, 2005). Fenolik bileşiklerin serbest radikalleri nötralize etme kapasiteleri, inflamasyonu azaltıcı, antimikrobiyal, antikanser ve kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etkileri ile dikkat çeker (Beara vd., 2012; Zimmer vd., 2012; Silva, Rodrigues, Feas, ve Estevinho, 2012). Gıdalarda doğal olarak bulunan bu bileşikler, aynı zamanda gıda işleme sürecinde değişime uğrayarak gıdanın fonksiyonel özelliklerini ve besin değerini etkilemektedir (Scalbert ve Williamson, 2000).

2. Fenolik Bileşiklerin Kimyasal Yapısı ve Etkileşim Mekanizmaları

2.1. Temel Fenolik Bileşik Sınıfları

Fenolik bileşikler, kimyasal yapılarında en az bir aromatik halka ve bir veya daha fazla hidroksil (-OH) grubu içeren organik bileşiklerdir. Bu yapı, onların biyolojik aktivitelerini belirler. Fenolik bileşikler, bitkilerde yaygın olarak bulunan ve birçok biyolojik işlevi olan bir bileşik grubudur. Tablo 1'de temel fenolik bileşik sınıfları ve biyolojik etkileri özetlenmiştir. Kimyasal yapıları temel alınarak şu ana sınıflara ayrılırlar:

- **Flavonoidler:** Bitkilerde en yaygın bulunan polifenoller olup, güçlü antioksidan, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özellikleriyle dikkat çeker. Temel kimyasal yapıları iki aromatik halka (A ve B) ile bir oksijen içeren heterosiklik C halkasından oluşur. Yapısal farklılıklarına göre flavonoller, flavonlar, flavanonlar, flavanoller (flavan-3-oller), izoflavonoidler ve antosiyaninler olmak üzere altı ana gruba ayrılırlar (Mark vd., 2019). Bu alt gruplar, serbest radikallerin nötralizasyonu, bağışıklık sisteminin desteklenmesi, kardiyovasküler hastalıkların önlenmesi ve hormonal denge gibi çeşitli biyolojik fonksiyonlara sahiptir (Albuquerque vd., 2021). Örneğin, flavanonlar özellikle narenciye meyvelerinde bulunurken, flavonoller sebzelerde, flavanoller yeşil çay ve kakaoda, izoflavonoidler ise baklagillerde yaygın olarak

bulunur. Antosiyaninler ise kırmızı-mor renkli meyve ve sebzelere renk verirken, aynı zamanda hücrel oksidatif hasarı önleyici özellikleri ile öne çıkar. Geniş bir biyolojik aktivite yelpazesine sahip olmaları nedeniyle flavonoidler, fonksiyonel gıdalar, takviye edici gıdalar ve ilaç sanayisinde büyük ilgi görmekte olup, sağlık üzerindeki etkilerini doğrulamak için klinik çalışmalar devam etmektedir.

- **Fenolik Asitler:** En basit fenolik bileşik sınıflarından biri olup, temel yapılarında bir fenolik halka ve bir karboksilik asit fonksiyonel grubu içerirler. Karbon iskeletlerine göre iki ana gruba ayrılırlar: hidroksibenzoik asitler (C₆-C₁) ve hidroksisinnamik asitler (C₆-C₃). Hidroksibenzoik asitler, benzoik asit türevleri olup, gallik asit, vanilik asit ve protokatekuik asit gibi bileşikler içerir (Durazzo vd., 2019). Bu bileşikler, özellikle meyveler, çay ve bazı tahıllarda bulunur ve güçlü antioksidan özellikleri ile bilinirler (Heleno vd., 2015). Hidroksisinnamik asitler ise sinamik asit türevlerinden türetilir ve daha yaygın olarak sebzelerde, meyvelerde ve tahıllarda bulunur. Kafeik asit, ferulik asit ve p-kumarik asit gibi bileşikler bu gruba dahildir. Bu bileşikler, serbest radikal temizleyici özellikleri ile hücrel oksidatif stresi azaltabilir ve inflamasyon süreçlerini düzenleyebilir. Genel olarak, fenolik asitler antioksidan, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde hücrel savunma mekanizmalarını destekleyerek, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser gibi kronik hastalıklara karşı koruyucu etki gösterebilirler (Albuquerque vd., 2021). Bu özellikleri nedeniyle, fonksiyonel gıda ve ilaç sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler.
- **Tanenler:** Bitkilerde yaygın olarak bulunan ve özellikle bazı meyvelere buruk ve acı bir tat veren büyük fenolik polimerlerdir. Kimyasal yapıları oldukça karmaşık olup, hidrolize edilebilir tanenler ve yoğun (kondanse) tanenler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (Durazzo vd., 2019). Hidrolize edilebilir tanenler, ellagik asit ve gallik asit gibi basit fenoller ile bir karbonhidratın birleşiminden oluşur. Asidik veya bazik koşullara maruz kaldıklarında, fenolik asitler ve karbonhidratlara ayrışabilirler. Örneğin, gallotaninler hidroliz edildiğinde gallik asit açığa çıkar. Yoğun tanenler (kondanse tanenler) ise flavan-3-ol monomerlerinin bir araya gelerek oluşturduğu büyük polimer yapılarından oluşur. Bu bileşikler, flavanol ünitelerinin A halkaları ile diğer flavanollerin pirandan halkası arasındaki bağlarla birleşmesiyle oluşur (Durazzo vd., 2019). Biyolojik aktiviteleri konusunda daha az araştırma yapılmış olmasına rağmen, son yıllarda proantosiyanidinler, güçlü antioksidan özellikleri ve sağlık yararları nedeniyle dikkat

çekmektedir (Albuquerque vd., 2021). Tanenlerin antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve kardiyovasküler hastalıkları önleyici etkileri, fonksiyonel gıdalar ve ilaç sanayisinde potansiyel kullanım alanları sunmaktadır.

- **Stilbenler:** C₆-C₂-C₆ yapısına sahip fenolik bileşikler olup, iki benzen halkası çift bağ ile bağlanmıştır. Merkezi çift bağın konumuna göre Z ve E izomerleri olarak sınıflandırılır; E izomerleri genellikle daha yüksek biyolojik aktiviteye sahiptir (Mark vd., 2019). Bu bileşikler, bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı savunma mekanizmalarında önemli rol oynar ve belirli bitki türlerinde sentezlenir. Hastalıklara, ultraviyole ışığa ve patojenlere karşı koruma sağlar. Antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri sayesinde insan sağlığı üzerinde de olumlu etkiler gösterebilir (Mark et al, 2019). Resveratrol, en bilinen stilben bileşiğidir ve özellikle üzüm kabukları, kırmızı şarap, yer fıstığı ve bazı çilek türlerinde bulunur. Resveratrol, kardiyovasküler sağlığı destekleyici etkileriyle öne çıkmakta olup, damar genişletici, antioksidan ve antiinflamatuvar özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, nörodejeneratif hastalıkları önlemede, yaşlanmayı geciktirmede ve kanser karşıtı etkiler göstermede potansiyel bir bileşik olarak geniş çapta araştırılmaktadır (Albuquerque vd., 2021).
- **Lignanlar:** Bitkisel kaynaklı fitoöstrojenler arasında yer alan lignanlar, bağırsak mikrobiyotası tarafından metabolize edilerek biyolojik olarak aktif bileşiklere dönüşebilirler. Kimyasal olarak, fenilpropanoid dimerlerinin (C₆-C₃) birleşmesiyle oluşurlar ve bu yapılar yan zincirlerinin merkezi karbonları aracılığıyla bağlanmıştır (Durazzo vd., 2019). Lignanlar, özellikle keten tohumu, susam, tam tahıllar ve bazı sebzelerde bulunur. Bu bileşikler, östrojenik ve antiöstrojenik aktiviteler gösterebilmekte, dolayısıyla hormonal dengeyi etkileyerek menopoz semptomlarını hafifletmekte ve hormonla ilişkili kanser türlerine karşı koruma sağlayabilmektedir (Caleja vd., 2017). Ayrıca, antioksidan, antiinflamatuvar ve kardiyovasküler sağlığı destekleyici etkileri ile de dikkat çekerler. Günümüzde lignanların sağlık üzerindeki etkileri, özellikle bağırsak mikrobiyotası ile etkileşimleri açısından araştırılmakta olup, fonksiyonel gıdalarda ve takviye edici ürünlerde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Tablo 1. Temel Fenolik Bileşik Sınıfları ve Biyolojik Etkileri

<i>Fenolik Bileşik Sınıfı</i>	<i>Örnek Bileşikler</i>	<i>Temel Kaynaklar</i>	<i>Biyolojik Etkileri</i>	<i>Referans</i>
<i>Flavonoidler</i>	Kaempferol, Mirisetin, Kuersetin, Luteolin, Apigenin, Naringenin, Hesperidin, Kateşin, Epikateşin, Genistein, Daidzein, Siyanidin, Delfinidin, Pelargonidin	Çay, narenciye, kakao, sebzeler, kırmızı-mor meyveler, baklagiller	Kardiyovasküler koruma, antioksidan, antiinflamatuar, hormonal denge	Durazzo vd., 2019 Ma vd., 2023 Oluwole vd., 2022
<i>Fenolik Asitler</i>	Kafeik asit, Ferulik asit, p-Kumarik asit, Gallik asit, Vanilik asit, Protokatekuik asit	Meyveler, sebzeler, tahıllar, çay	Antioksidan, antimikrobiyal, inflamasyon düzenleyici	Durazzo vd., 2019 Heleno vd., 2015 Albuquerque vd., 2021
<i>Tanenler</i>	Gallotanin, Ellajik asit, Proantosiyanidinler, Epigallocatechin gallate	Çay, üzüm kabukları, bazı meyveler	Antioksidan, antimikrobiyal, kardiyovasküler koruma	Oluwole vd., 2022 Caleja vd., 2017
<i>Stilbenler</i>	Resveratrol	Üzüm, kırmızı şarap, yer fıstığı, çilek	Kardiyoprotektif, antiinflamatuar, nöroprotektif, yaşlanma karşıtı	Durazzo vd., 2019
<i>Lignanlar</i>	Sekoisolaricrezinol, Matairezinol	Keten tohumu, susam, tam tahıllar, sebzeler	Fitoöstrojenik etki, hormonal denge, kardiyovasküler destek	Durazzo vd., 2019 Mark vd., 2019

2.2. Fenolik Bileşiklerin Gıda Makromolekülleri ile Etkileşimi ve Çevresel Faktörlerin Etkileri

Fenolik bileşikler, gıdalardaki proteinler, lipitler ve karbonhidratlar gibi makromoleküllerle etkileşime girerek besin değerini, duyuşal özellikleri ve fonksiyonel özellikleri etkilemektedir. Bu etkileşimler, gıda bileşenlerinin fizikokimyasal stabilitesini ve biyoyararlanımını değiştirerek fonksiyonel gıdaların etkinliğini belirlemede önemli bir rol oynar (Ozdal vd., 2013).

Fenolik bileşikler, proteinlerle farklı türde bağlanma mekanizmaları aracılığıyla etkileşime girerek proteinlerin fizikokimyasal özelliklerini ve fonksiyonel davranışlarını değiştirebilmektedir. Genellikle hidrojen bağları, hidrofobik etkileşimler ve van der Waals kuvvetleri yoluyla gerçekleşen bu etkileşimler, bazı durumlarda oksidatif bağlar aracılığıyla kovalent kompleksler de oluşturur (Ozdal vd., 2013). Fenolik bileşiklerin proteinlerle reaksiyona girmesi, proteinlerin çapraz bağlanmasını (cross-linking) teşvik

eder. Bu çapraz bağlanmalar, protein moleküllerinin net yükünü değiştirerek çözünürlüğünü etkileyebilir. Örneğin, tanenler gibi belirli fenolik bileşikler, proteinlerle kompleks oluşturarak çözünmeyen bileşiklerin meydana gelmesine neden olur ve bu durum proteinlerin biyoyararlanımını azaltır (Zhang vd., 2020). Protein-fenolik bileşik etkileşimleri, yapısal değişimler ve fonksiyonel özellikler açısından kritik bir rol oynar. Fenolik bileşiklerle etkileşim sonucunda proteinlerin α -heliks ve β -tabaka oranları değişebilir, bu da onların üç boyutlu yapısını etkileyerek çözünürlüğünü artırabilir veya azaltabilir (Kanakis vd., 2011). Bu etkileşimler sonucu proteinlerin ikincil (secondary) ve üçüncül (tertiary) yapılarında meydana gelen değişiklikler, moleküllerin yüzey özelliklerini etkileyerek proteinlerin daha hidrofilik veya daha hidrofobik hale gelmesine yol açar. Böylece proteinlerin emülsifiye edici, jel oluşturu ve su tutma kapasitesi gibi fonksiyonel özelliklerini değiştirebilir (Rawel vd., 2002). Bununla birlikte, bazı fenolik bileşiklerin protein yapısını stabilize ettiği ve enzim aktivitesini modüle ederek fonksiyonel özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir (Lv vd., 2021).

Fenolik bileşiklerin lipitlerle etkileşimi ise gıdaların oksidatif stabilitesini etkilemektedir. Lipit oksidasyonu, raf ömrünü kısaltan ve kalite kaybına yol açan en önemli süreçlerden biridir. Fenolik bileşikler, serbest radikalleri nötralize ederek lipit oksidasyonunu önleyebilir veya yavaşlatabilir (Smith, 2012). Böylece, fonksiyonel gıdaların bozulmasını engelleyerek duysal ve besinsel özelliklerin korunmasına katkıda bulunurlar. Bunun yanı sıra, fenolik bileşikler karbonhidratlar, vitaminler ve minerallerle de etkileşime girebilmektedir. Örneğin, bazı fenolik bileşiklerin diyet lifleriyle etkileşimi, onların bağırsakta emilimini değiştirerek biyoyararlanımlarını etkiler (Zhang vd., 2020). Ayrıca, fenolik bileşiklerin demir ve çinko gibi minerallerle şelat oluşturması, bu minerallerin emilimini azaltarak biyoyararlanımını sınırlayabilir (Ozda vd., 2013).

Fenolik bileşiklerin makromoleküllerle olan etkileşimleri, çevresel faktörlerden büyük ölçüde etkilenir. pH değişimi, proteinlerin ve fenolik bileşiklerin iyonizasyon durumunu değiştirerek etkileşimlerin şiddetini artırabilir veya azaltabilir. Özellikle protein-fenolik bileşik kompleksleri, proteinin izoelektrik noktasına yakın pH seviyelerinde daha güçlüdür (Rawel vd., 2005). Benzer şekilde, sıcaklık değişiklikleri proteinlerin yapısını etkileyerek fenolik bileşiklerle olan etkileşimlerini artırabilir veya azaltabilir. Yüksek sıcaklıklarda proteinlerin denatüre olması, etkileşimleri güçlendirirken, çok yüksek sıcaklıklar fenolik bileşiklerin oksidatif bozulmasına neden olmaktadır (Ozda vd., 2013). Bunun yanı sıra, iyonik kuvvet ve çözücü ortamı gibi faktörler de protein-fenolik etkileşimlerini doğrudan etkilemektedir. Ortamdaki tuz konsantrasyonu, elektrostatik

etkileşimleri değiştirerek komplekslerin stabilitesini etkiler. Yüksek tuz konsantrasyonu genellikle etkileşimleri zayıflatırken, çözücü ortamının bileşimi de fenolik bileşiklerin çözünürlüğünü ve bağlanma kapasitesini değiştirir (Zhang vd., 2021). Örneğin, etanol gibi organik çözücüler, fenolik bileşiklerin çözünürlüğünü artırarak proteinlerle olan etkileşimleri modüle eder (Günel-Köroğlu vd., 2022). Bu faktörlerin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi, fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıdalarda daha verimli ve stabil bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Uygun pH seviyelerinin belirlenmesi, proteinler ve fenolik bileşikler arasındaki optimum etkileşimi destekleyerek istenilen fonksiyonel özelliklerin korunmasına yardımcı olur. Benzer şekilde, sıcaklık ve ortam koşullarının ayarlanması, fenolik bileşiklerin oksidatif bozulmasını önleyerek biyoyararlanımlarını ve fonksiyonel etkinliklerini artırır (Saricaoglu vd., 2023).

Sonuç olarak, fenolik bileşiklerin proteinler, lipitler ve diğer biyoaktif bileşiklerle olan etkileşimleri, gıda stabilitesini ve fonksiyonelliğini belirleyen kritik faktörlerden biridir. Bu etkileşimleri optimize etmek, fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıdalarda etkinliğini artırarak besinsel ve duyuşsal özellikleri geliştirmek açısından önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

3. Fonksiyonel Gıdalarda Fenolik Bileşikler ve Uygulamalar

Fenolik bileşikler, bitkisel gıdalarda doğal olarak bulunan biyoaktif bileşiklerdir ve antioksidan, antiinflamatuar, antimikrobiyal, kardiyovasküler koruyucu ve kanser önleyici etkileri nedeniyle sağlık açısından büyük ilgi görmektedirler. Bu bileşikler, farklı gıda kaynaklarından elde edilerek çeşitli fonksiyonel gıda formülasyonlarında kullanılır. Tablo 2’de çeşitli gıda kaynaklarındaki fenolik bileşikler ve potansiyel sağlık etkileri verilmiştir.

Tablo 2. Gıda Kaynaklarındaki Fenolik Bileşikler ve Potansiyel Sağlık Etkileri

Fenolik Bileşik Kaynağı	İçerdiği Fenolik Bileşikler	Potansiyel Sağlık Etkileri	Referans
Meyveler (Üzüm, Çilek, Ahududu, Yaban Mersini)	Resveratrol, Antosiyaninler, Flavonoidler	Antioksidan, Kardiyovasküler Koruma	Imeh ve Khokhar, 2002 Ignat vd., 2011 Haminiuk vd., 2012 Macheix, 2018):
Meyveler (Elma, Armut)	Flavonoller (Quercetin, Kaempferol), Fenolik Asitler (Kafeik Asit, Klorojenik Asit)	Antioksidan, Anti-enflamatuvar	
Meyveler (Nar)	Gallik Asit, Ellagik Asit, Punikalagin	Antioksidan, Kanser Önleyici	
Sebzeler (Brokoli, Lahana, Ispanak)	Quercetin, Kaempferol, Glukozinolatlar	Kanser Önleyici, Antioksidan	Rashmi ve Negi, 2020 Ignat vd., 2011
Sebzeler (Domates, Biber)	Likopen, Flavonoller, Kapsaisin	Antioksidan, Kardiyovasküler Destek	
Sebzeler (Soğan, Sarımsak)	Quercetin, Luteolin, Kükürt Bileşikleri	Bağışıklık Güçlendirici, Anti-enflamatuvar	
Tam Tahıllar (Buğday, Çavdar, Arpa, Yulaf)	Ferulik Asit, p-Kumarik Asit	Antioksidan, Metabolik Destek	Xu vd., 2020 Van Hung, 2016
Baklagiller (Mercimek, Nohut, Fasulye)	İzoflavonlar (Genistein, Daidzein), Fenolik Asitler	Hormonal Denge, Antioksidan	Singh vd., 2017
Yağlı Tohumlar (Ceviz, Badem, Fındık, Ketent Tohumu)	Proantosiyanidinler, Gallik Asit, Ellagik Asit	Antioksidan, Kardiyovasküler Koruma	Zhang vd., 2022
Çay (Yeşil Çay, Siyah Çay)	Kateşinler (EGCG)	Antioksidan, Kardiyovasküler Destek	Jeszka-Skowron vd., 2021
Kahve	Kafeik Asit, Klorojenik Asit	Antioksidan, Metabolik Destek	Jeszka-Skowron vd., 2021
Kakao	Flavanoller (Epikateşin, Kateşin)	Beyin Fonksiyonlarını Destekleyici	Martin ve Ramos, 2017
Baharatlar (Zerdeçal, Tarçın, Karanfil, Kekik)	Kurkumin, Proantosiyanidinler, Fenolik Asitler	Anti-enflamatuvar, Antimikrobiyal	Ali vd., 2021
Fermente Süt Ürünleri (Yoğurt, Kefir, Peynir)	Flavonoidler, Fenolik Asitler	Biyoyararlanım Artışı, Sindirim Destegi	Melini ve Melini, 2021 Wróblewska vd., 2023
Bitkisel Bazlı Süt Alternatifleri (Badem, Soya, Yulaf Sütü)	İzoflavonlar	Hormonal Denge, Kardiyovasküler Destek	Aliakbarian vd., 2015
Fonksiyonel Gıdalar (Meyve Suları, Tahıl Bazlı Ürünler, Süt Ürünleri)	Çeşitli Polifenoller ve Fenolik Asitler	Gıda Stabilitesi, Fonksiyonel Etkiler	Kasote vd., 2021

3.1. Meyve ve Sebzelerdeki Fenolik Bileşikler

Meyve ve sebzeler, fenolik bileşikler açısından en zengin kaynaklardan biridir. Bu bileşiklerin içeriği; bitki türü, genetik faktörler, olgunluk aşaması, yetiştirme koşulları ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişmektedir. Fenolik bileşikler, meyve ve sebzelerde antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve kardiyovasküler koruyucu etkiler göstererek insan sağlığına fayda sağlar (Imeh ve Khokhar, 2002; Ignat vd., 2011). Ayrıca, gıda endüstrisinde doğal koruyucu, renk verici ve fonksiyonel bileşenler olarak da kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır.

Meyvelerde bulunan başlıca fenolik bileşikler flavonoidler, fenolik asitler ve stilbenler gibi gruplara ayrılmaktadır (Ignat vd., 2011). Bu bileşikler, meyvelerin rengini, tadını ve besin değerini belirleyen temel faktörlerden biridir. Örneğin (Haminiuk vd., 2012; Macheix, 2018):

- Üzüm, çilek, ahududu ve yaban mersini resveratrol, antosiyaninler ve flavonoidler içerir. Resveratrol, özellikle üzüm kabuklarında ve kırmızı şarapta bulunur ve güçlü antioksidan ve kardiyoprotektif özellikleriyle bilinir.
- Elma ve armut flavonoller (kuersetin, kaempferol), fenolik asitler (kafeik asit, klorojenik asit) açısından zengindir. Kuersetin, hücrel oksidatif stresi azaltarak bağışıklık sistemini destekler.
- Nar gallik asit, ellagik asit ve punikalagin içerir. Bu bileşikler, güçlü antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleriyle bilinir ve bağışıklık sistemini destekleyerek kardiyovasküler hastalık riskini azaltabilir.
- Mango ve kiraz gallik asit ve mangiferin içeriğiyle bilinir ve güçlü antiinflamatuvar ve nöroprotektif etkilere sahiptir.

Sebzelerde bulunan fenolik bileşikler genellikle flavonoidler ve fenolik asitler olarak sınıflandırılır. Bu bileşikler, sebzelerin renklerini, tatlarını ve sağlık üzerindeki etkilerini belirler (Rashmi ve Negi, 2020). Örneğin:

- Brokoli, lahanalar ve ıspanak kuersetin, kaempferol ve glukozinolatlar içerir. Bu bileşikler, özellikle kanser önleyici ve antioksidan etkileriyle bilinmektedir.
- Domates ve biber likopen, flavonoller ve kapsaisin içerir. Likopen, güçlü bir karotenoid antioksidan olup, özellikle prostat kanseri ve kalp hastalıklarına karşı koruyucu rol oynar.

- Soğan ve sarımsak flavonoidler (kuersetin, luteolin), kükürt bileşikleri ve organosülfür bileşenleri açısından zengindir. Bu bileşikler, bağışıklık sistemini güçlendirir ve antiinflamatuvar etkiler gösterir.
- Havuç ve tatlı patates karotenoidler ve fenolik asitler açısından zengindir ve özellikle göz sağlığını destekleyici etkileri ile öne çıkar.

Fenolik bileşiklerin içeriği ve etkisi, işleme yöntemleriyle değişebilmektedir. Örneğin, yüksek sıcaklık işlemleri bazı fenolik bileşiklerin bozulmasına neden olurken, fermentasyon gibi işlemler fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artırabilir (Rashmi ve Negi, 2020). Meyve ve sebzelerde bulunan fenolik bileşikler, gıda endüstrisinde doğal antioksidanlar ve koruyucu bileşenler olarak kullanılmakta ve sağlık açısından önemli faydalar sunmaktadır. Ayrıca, fonksiyonel gıda bileşenleri olarak işlenmiş gıdalara eklenerek raf ömrünü uzatma, besin değerini artırma ve duyuşal özellikleri iyileştirme amacıyla da kullanılmaktadırlar (Macheix, 2018; Rashmi ve Negi, 2020).

3.2. Tahıllar, Baklagiller ve Yağlı Tohumlardaki Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, tahıllar, baklagiller ve yağlı tohumlar gibi bitkisel gıdalarda önemli biyolojik işlevlere sahiptir. Bu bileşikler, özellikle kepek tabakasında yoğunlaşmış olup, rafinasyon ve işleme süreçleri sırasında kayıplara uğrayabilir. Fenolik bileşiklerin varlığı, bu gıdaların besin değerini artırırken, sağlık üzerindeki olumlu etkileri sayesinde fonksiyonel gıda olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir (Xu vd., 2020).

Tam tahıllar, içerdiği fenolik asitler sayesinde önemli bir antioksidan kaynağıdır. Buğday, çavdar, arpa ve yulaf gibi tahıllarda ferulik asit ve p-kumarik asit gibi bileşikler bulunur. Ferulik asit, özellikle buğday kepeğinde yüksek miktarda bulunur ve oksidatif strese karşı koruyucu etki gösterir. Tahıllardaki fenolik bileşikler, serbest radikalleri nötralize ederek hücresel hasarı önleyebilir ve kronik hastalıkların riskini azaltabilir. Bununla birlikte, tam tahılların işlenmesi sırasında meydana gelen rafinasyon işlemi, fenolik bileşik içeriğini azaltarak biyoaktivitesini düşürür (Van Hung, 2016).

Baklagiller, fenolik asitler ve izoflavonlar açısından zengin bitkisel protein kaynaklarıdır. Mercimek, nohut ve fasulye gibi baklagiller, antioksidan özellikleri ile ön plana çıkar. Soya fasulyesi, genistein ve daidzein gibi izoflavonlar içerir ve bu bileşikler hormonal denge üzerinde östrojen benzeri etkiler göstermektedir. İzoflavonlar, menopoz semptomlarını hafifletmekte, kemik sağlığını desteklemekte ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltabilmektedir. Bunun yanında, baklagillerin pişirme ve fermentasyon süreçleri, fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını etkiler (Singh vd., 2017).

Yağlı tohumlar, yüksek miktarda fenolik bileşik içeren bir diğer önemli gıda grubudur. Ceviz, badem, fındık ve keten tohumu, proantosiyanidinler, gallik asit ve ellagik asit gibi bileşenler bakımından zengindir. Bu bileşiklerin antioksidan etkileriyle hücrel yaşlanmayı yavaşlatma, inflamasyonu azaltma ve nörodejeneratif hastalıklara karşı koruma gibi özellikleri vardır. Yağlı tohumların düzenli tüketimi, kalp-damar sağlığını destekleyerek kan basıncını düzenlemeye ve kötü kolesterol seviyelerini düşürmeye yardımcı olmaktadır (Zhang vd., 2022).

3.3. Çay, Kahve, Kakao ve Baharatlardaki Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler açısından zengin olan bitkisel içecekler ve baharatlar, günlük beslenmenin önemli bir parçasını oluşturarak sağlık açısından çeşitli faydalar sağlar. Bu bileşikler, antioksidan, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde bağışıklık sistemini destekler, kronik hastalıklara karşı koruma sağlar ve metabolik süreçleri düzenler.

Çay, polifenoller açısından en zengin içeceklerden biridir. Yeşil çay ve siyah çay, kateşinler, özellikle epigallocateşin gallat (EGCG) bakımından zengin olup, güçlü antioksidan özelliklere sahiptir. Bu bileşikler, hücrel oksidatif stresi azaltarak kardiyovasküler sağlığı destekleyebilir, kan basıncını düzenleyebilir ve bazı kanser türlerine karşı koruyucu etkiler gösterebilir. Fermente edilmemiş yeşil çay, siyah çaya kıyasla daha yüksek oranda kateşin içerirken, siyah çayda teaflavinler gibi farklı polifenolik bileşikler bulunur (Jeszka-Skowron vd., 2021).

Kahve, fenolik bileşikler açısından zengin bir içecek olup, özellikle kafeik asit ve klorojenik asit içerir. Klorojenik asit, kan şekeri seviyelerinin düzenlenmesinde ve yağ metabolizmasının desteklenmesinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, kahve tüketiminin tip 2 diyabet ve obeziteyle mücadelede olumlu etkiler sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, kahvede bulunan fenolik bileşikler sinir sistemini koruyarak nörodejeneratif hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilir. Ancak, yüksek sıcaklıkta kavurma işlemi sırasında bazı fenolik bileşiklerin miktarı azalmaktadır (Jeszka-Skowron vd., 2021).

Kakao, flavanoller açısından oldukça zengin bir kaynaktır. Epikateşin ve kateşin gibi flavanoller içeren kakao, beyin fonksiyonlarını destekleyici etkileri ile bilinmektedir. Kakao tüketiminin hafıza ve bilişsel işlevler üzerinde olumlu etkiler gösterdiği araştırmalarla ortaya konmuştur. Ayrıca, kakao polifenolleri damar sağlığını destekleyerek kan dolaşımını iyileştirir ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltabilir. Bitter çikolata, yüksek flavanol içeriği sayesinde bu

sağlık yararlarını sağlayabilirken, işlenmiş sütü çikolatalarda fenolik bileşik oranı daha düşük olmaktadır (Martin ve Ramos, 2017).

Baharatlar, içerdiği fenolik bileşikler sayesinde antioksidan ve antimikrobiyal özellikleriyle öne çıkar. Zerdeçal, kurkumin bileşiği içerir ve güçlü antiinflatuvar etkileri ile bağışıklık sistemini destekler. Kurkuminin, inflamasyonu azaltıcı etkileri nedeniyle artrit ve bazı kronik hastalıkların tedavisinde destekleyici rol oynayabileceği öne sürülmektedir. Tarçın, proantosiyanidinler ve fenolik asitler bakımından zengindir ve kan şekeri seviyelerini dengelemeye yardımcı olur. Karanfil ve kekik gibi baharatlar, yüksek fenolik bileşik içeriğine sahiptir ve güçlü antimikrobiyal özellikleri ile bilinir. Bu bileşikler, doğal koruyucu olarak gıda endüstrisinde kullanılmakta ve gıdaların raf ömrünü uzatmada etkili olmaktadır (Ali vd., 2021).

Bitkisel içecekler ve baharatlardaki fenolik bileşikler, yalnızca sağlık yararları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gıda endüstrisinde doğal bileşenler olarak fonksiyonel gıda üretiminde de yaygın olarak kullanılır. Bu bileşikler, gıdaların besin değerini artırmak, renk ve tat stabilitesini sağlamak ve doğal koruyucu olarak kullanmak amacıyla farklı gıda formülasyonlarına eklenmektedir (do Carmo Brito vd., 2017).

3.4. Süt ve Fermente Ürünlerde Fenolik Bileşiklerin Varlığı ve Etkileri

Süt ve süt ürünleri doğrudan fenolik bileşik kaynağı olmasa da fermente ve fonksiyonel süt ürünleri aracılığıyla fenolik bileşikler içermektedir. Fenolik bileşikler, bu ürünlerin besin değerini artırarak sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterir. Özellikle antioksidan kapasiteleri sayesinde, oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunurlar (Melini ve Melini, 2021).

Fermente süt ürünleri, fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artıran önemli bir kategori olarak öne çıkar. Yoğurt, kefir ve peynir gibi fermente gıdalar, içeriklerindeki mikroorganizmalar sayesinde fenolik bileşiklerin sindirilebilirliğini artırmaktadır. Fermentasyon süreci, bazı flavonoidlerin yapısal dönüşümünü sağlayarak bağırsak mikrobiyotası ile daha etkili bir etkileşim kurmalarına yardımcı olur. Bunun sonucunda, vücutta antiinflatuvar ve kardiyovasküler koruyucu etkiler gösterirler (Wróblewska vd., 2023).

Bitkisel bazlı süt alternatifleri de fenolik bileşik içeriği açısından önemli bir kaynaktır. Badem sütü, soya sütü ve yulaf sütü gibi bitkisel bazlı içecekler, doğal olarak polifenoller içerir. Özellikle soya sütü, izoflavon bakımından zengin olup, östrojen benzeri etkileriyle hormonal denge üzerinde düzenleyici bir rol oynar. Son yıllarda, polifenol ile zenginleştirilmiş süt ürünleri de

dikkat çekmektedir. Antioksidan özellikleri nedeniyle, süt ürünleri fenolik bileşiklerle zenginleştirilerek fonksiyonel gıdalara dönüştürülebilir. Örneğin, yeşil çay polifenollerini veya üzüm çekirdeği ekstraktı ile zenginleştirilmiş yoğurtlar, oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunmakta ve bağışıklık sistemini desteklemektedir (Aliakbarian vd., 2015).

Fenolik bileşiklerin süt proteinleri ile etkileşimleri, doku ve kıvamı değiştirmekte ve biyoyararlanımını artırabilmektedir. Ancak, fenolik bileşiklerin süt ürünlerindeki stabilitesi, üretim sürecinde kullanılan sıcaklık, pH ve depolama koşulları gibi faktörlerden etkilenir. Yüksek sıcaklıklarda bazı fenolik bileşiklerin bozulma riski artarken, düşük pH seviyeleri stabiliteyi korur. Bu nedenle, fonksiyonel süt ürünleri üretiminde optimum koşulların belirlenmesi, fenolik bileşiklerin etkinliğini artırmak için kritik bir faktördür.

4. Gıda İşleme Tekniklerinin Fenolik Bileşik Stabilitesi Üzerine Etkileri

Gıda işleme süreçleri, fenolik bileşiklerin stabilitesini ve biyoyararlanımını önemli ölçüde etkilemektedir (Rashmi ve Negi, 2020). Isıl işlemler, pH değişimleri, oksijen ve ışığa maruz kalma gibi faktörler, bu bileşiklerin oksidasyonuna, bozunmasına veya fonksiyonel özelliklerinde kayıplara yol açabilir (Mark vd., 2019).

4.1. Isıl İşlemler ve Alternatif Yöntemler

Yüksek sıcaklık uygulamaları, bazı fenolik bileşiklerin parçalanmasına neden olmaktadır. Buharla pişirme ve haşlama gibi yöntemler fenolik kayıplarını azaltırken, kızartma gibi işlemler oksidatif bozulmayı artırır (Cao vd., 2021). Alternatif olarak, ohmik ısıtma ve mikrodalga işlemleri kısa sürede ısıtma sağlayarak fenolik bileşiklerin stabilitesini daha iyi koruyabilmektedir. Yüksek basınçlı işleme (HPP) gibi yöntemler ise, özellikle ısıya duyarlı fenolik bileşiklerin korunmasında etkili olmaktadır (Cao vd., 2021).

4.2. Fermantasyonun Fenolik Bileşiklere Etkisi

Fermantasyon, probiyotik mikroorganizmalar sayesinde fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artırabilir. Bu süreçte bazı flavonoidlerin daha kolay sindirilebilir türevlerine dönüşmesi sağlanarak bağırsak emilimi iyileştirir. Örneğin, yoğurt ve kefir gibi fermente süt ürünlerinde fenolik bileşiklerin antioksidan kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir (Melini ve Melini, 2021). Kakao çekirdeklerindeki fenolik bileşikler de fermantasyondan etkilenir. Fakat, fermantasyonun başında toplam fenolik bileşiklerin seviyeleri en yüksekken, süreç ilerledikçe bu seviyeler önemli ölçüde azalır ve bu

azalma, antioksidan kapasitedeki düşüşle ilişkilendirilmektedir (do Carmo Brito vd., 2017).

4.3. Mikroenkapsülasyon ve Koruma Yöntemleri

Mikroenkapsülasyon, fenolik bileşiklerin stabilitesini artırmak ve oksidatif bozulmalarını önlemek için kullanılan bir yöntemdir. Sprey kurutma, fenolik bileşiklerince toz halinde kapsüle ederek gıda formülasyonlarına entegre edilmesini sağlar. Nanoenkapsülasyon gibi ileri teknikler ise, fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artırarak bağırsakta daha etkin bir emilim sağlar (Neuenfeldt vd., 2022).

4.4. İnovatif Stratejiler ve Fonksiyonel Gıdalara Entegrasyon

Fenolik bileşiklerin fonksiyonel etkilerini artırmak için proteinlerle kompleks oluşturma, prebiyotik özelliklerini güçlendirme ve lipit bazlı taşıyıcı sistemlerle emilimini artırma gibi stratejiler uygulanmaktadır. Bu yöntemler, fenolik bileşiklerin gıda ürünlerinde daha stabil ve biyoyararlı hale gelmesini sağlayarak sağlık üzerindeki olumlu etkilerini artırabilir (Kasote vd., 2021). Sonuç olarak, fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıdalardaki etkinliğini koruyabilmek için uygun işleme tekniklerinin seçilmesi ve stabiliteyi artırıcı yöntemlerin uygulanması gerekmektedir.

5. Gelecek Perspektifler ve Araştırma Yönelimleri

Fenolik bileşikler, gıda ve sağlık alanında büyük ilgi gören biyoaktif bileşiklerdir. Fonksiyonel gıdalardaki kullanımları giderek artarken, biyoyararlanımlarını ve sağlık üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için yeni araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, tüketici farkındalığını artırmak ve düzenleyici çerçeveler oluşturmak, bu bileşiklerin daha yaygın ve güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

5.1. Yeni Kaynakların Keşfi ve Biyoyararlanımı Artırma Yöntemleri

Fenolik bileşiklerin biyoyararlanımı ve etkinliği, kaynaklarına ve işleme koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, yeni fenolik bileşik kaynaklarının keşfi ve bu bileşiklerin biyoyararlanımını artırma stratejileri, bilim dünyasında öncelikli araştırma alanları arasındadır. Geleneksel bitkisel kaynakların dışında, deniz yosunları, mikroalgler, mantarlar ve fermente gıdalar gibi alternatif kaynaklardan fenolik bileşikler elde edilmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Hayes ve García-Vaquero, 2016; Subbiah vd., 2023). Bu alternatif kaynaklar, fenolik bileşiklerin çeşitliliğini artırarak, gıda ve sağlık alanında daha geniş kullanım imkânı sunabilir. Bunun yanı sıra, tarımsal atıklar gibi yan ürünlerden fenolik bileşiklerin geri kazanımı,

sürdürülebilir üretim açısından önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Üzüm çekirdeği, kahve posası ve nar kabuğu gibi atıklar, biyoyararlı fenolik bileşikler açısından zengin olup, geri dönüştürülerek fonksiyonel gıdalara ve sağlık ürünlerine entegre edilebilir (Mir-Cerdà vd., 2023).

Fenolik bileşiklerin insan vücudunda daha iyi emilmesi ve metabolize edilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Nanoteknoloji tabanlı taşıyıcı sistemler, özellikle nanoenkapsülasyon ve lipit bazlı taşıyıcılar, fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artırmada önemli bir rol oynar (Roshanpour vd., 2021). Bu yöntemler, fenolik bileşiklerin bağırsakta daha uzun süre aktif kalmasını ve vücut tarafından daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar. Fermantasyon da fenolik bileşiklerin biyoyararlanımını artıran bir diğer yöntemdir. Fermente gıdalarda bulunan probiyotik bakteriler, fenolik bileşiklerin sindirilebilirliğini artırarak bağırsaktaki emilimlerini kolaylaştırabilir. Örneğin, fermente süt ürünleri ve bitkisel bazlı içecekler, fenolik bileşiklerin fonksiyonel etkilerini güçlendiren bileşenler içermektedir (Wróblewska vd., 2023). Ayrıca, gıdalara biyoyararlanımı artıran sinerjistik bileşiklerin (C vitamini, lipitler vb.) eklenmesi, fenolik bileşiklerin etkinliğini yükseltir. C vitamini, fenolik bileşiklerin oksidatif stabilitesini artırırken, lipit bazlı taşıyıcılar yağda çözünen fenolik bileşiklerin emilimini desteklemektedir (Chen vd., 2022).

5.2. Klinik Çalışmalar ve Sağlık Üzerindeki Etkilerin Doğrulanması

Fenolik bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuvar, kardiyovasküler, nöroprotektif ve kanser önleyici etkileri laboratuvar ve hayvan çalışmalarında kanıtlanmış olsa da bu etkilerin insanlarda doğrulanması için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Fenolik bileşiklerin insan metabolizmasındaki yollarının daha iyi anlaşılması, optimal doz belirlenerek uzun vadeli güvenliğinin test edilmesi ve diyetle alınan fenolik bileşiklerin bireysel genetik farklılıklar göz önüne alınarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yeşil çay polifenoller, resveratrol ve kurkumin gibi bileşikler üzerine yapılan klinik çalışmalar umut verici sonuçlar sunsa da geniş ölçekli ve uzun süreli araştırmalar henüz yetersizdir. Metabolik hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar ve bağırsak sağlığı üzerine yapılan çalışmaların detaylandırılması, fenolik bileşiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini daha net ortaya koyacaktır. Bu nedenle, fonksiyonel gıdalarda kullanılan fenolik bileşiklerin etkilerini belirlemek amacıyla disiplinler arası klinik çalışmaların artırılması gerekmektedir.

5.3. Fonksiyonel Gıdalardaki Fenolik Bileşikler İçin Yasal Düzenlemeler

Fenolik bileşiklerin gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılması için düzenleyici kurumlar tarafından onaylanması gerekmektedir. Ancak şu anda, farklı ülkelerde fenolik bileşiklerin gıdalarda kullanımı ile ilgili farklı düzenlemeler bulunmaktadır. ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), belirli fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıdalarda kullanımına sınırlamalar getirirken, Japonya ve Güney Kore gibi ülkeler polifenol içeriği yüksek fonksiyonel gıdaların tüketimini teşvik etmektedir (Albuquerque vd., 2021). Bu bağlamda, fenolik bileşiklerin güvenli tüketim dozlarının belirlenmesi, toksisite testleri ve uzun vadeli etkilerinin araştırılması gibi süreçlerin tamamlanması gerekmektedir. Ayrıca, fonksiyonel gıdalar için uluslararası bir standart oluşturularak tüketici güvenliği artırılmalı ve fenolik bileşik içeren gıdaların piyasaya sunulması daha kolay hale getirilmelidir.

5.4. Tüketici Farkındalığı ve Piyasa Taleplerine Uyum Sağlama

Fonksiyonel gıdaların başarısı, tüketici farkındalığı ve kabulü ile doğrudan ilişkilidir (Topolska vd., 2021). Fenolik bileşiklerin sağlık üzerindeki faydalarının bilimsel olarak kanıtlanması ve tüketicilere doğru bir şekilde sunulması, bu bileşiklerin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlayacaktır. Günümüzde doğal ve temiz etiketli gıdalar giderek daha fazla talep görmekte, özellikle bitkisel bazlı fonksiyonel gıdalar vegan ve sağlıklı yaşam tarzını benimseyen tüketiciler tarafından tercih edilmektedir. Fenolik bileşik içeriği yüksek gıdalar, özellikle antioksidan içecekler ve polifenol bakımından zengin fonksiyonel çikolatalar gibi ürünler, piyasa trendlerinde öne çıkmaktadır. Ayrıca, akıllı ambalajlama ve artırılmış gerçeklik teknolojileri, tüketicilere gıda içeriği hakkında daha fazla bilgi sunarak farkındalık yaratabilir. Tüketicilerin bilinçlenmesi ve piyasa trendlerinin izlenmesi, fenolik bileşik içeren fonksiyonel gıdaların daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlayacaktır.

5.5. Gelecekteki Araştırmalar ve Uygulamalar İçin Öneriler

Fenolik bileşikler, fonksiyonel gıda formülasyonlarında sağlık faydaları ve doğal koruyucu özellikleri nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Antioksidan, antiinflamatuar ve metabolizma düzenleyici etkileri sayesinde, bu bileşikler kronik hastalıkların önlenmesine katkı sağlamakta ve bağırsak mikrobiyotası ile etkileşime girerek prebiyotik özellikler gösterebilmektedir. Ancak biyoyararlanımının artırılması, sağlık etkilerinin klinik çalışmalarla doğrulanması ve düzenleyici süreçlerin netleştirilmesi gibi zorlukların aşılması gerekmektedir. Fenolik bileşiklerin gıda endüstrisinde daha geniş

kullanım alanı bulabilmesi için biyoteknolojik inovasyonların yanı sıra tüketici farkındalığının artırılması da büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmaların, sürdürülebilir üretim kaynakları, biyoyararlanımı artıran teknolojiler ve geniş ölçekli klinik çalışmalar üzerine yoğunlaşması gerekmektedir. Tarımsal yan ürünlerden fenolik bileşiklerin geri kazanımı, mikroalgler ve fermente gıdalar gibi alternatif kaynakların araştırılması, gıda sektöründe bu bileşiklerin etkin kullanımını sağlayacaktır. Ayrıca, nanoteknoloji ve mikroenkapsülasyon gibi ileri işleme teknikleriyle fenolik bileşiklerin stabilitesi ve biyoyararlanımı artırılabilir. Klinik çalışmaların yaygınlaştırılması ve farklı fenolik bileşik kombinasyonlarının sinerjik etkilerinin araştırılması, bu bileşiklerin fonksiyonel gıdalardaki rolünü daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Bu kapsamda geliştirilecek stratejiler, fenolik bileşiklerin fonksiyonel gıda endüstrisinde daha etkili ve güvenilir bir şekilde kullanılmasını sağlayarak sağlıklı beslenme trendlerine yön verecektir.

Kaynakça

- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Oliveira, M. B. P., Barros, L., ve Ferreira, I. C. (2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food ve function*, 12(1), 14-29.
- Ali, A., Wu, H., Ponnampalam, E. N., Cottrell, J. J., Dunshea, F. R., ve Suleria, H. A. (2021). Comprehensive profiling of most widely used spices for their phenolic compounds through LC-ESI-QTOF-MS2 and their antioxidant potential. *Antioxidants*, 10(5), 721.
- Aliakbarian, B., Casale, M., Paini, M., Casazza, A. A., Lanteri, S., ve Perego, P. (2015). Production of a novel fermented milk fortified with natural antioxidants and its analysis by NIR spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 376-383.
- Beara, I. N., Lesjak, M. M., Orcic, D. Z., Simin, N. D., Cetoyevic-Simin, D. D., Bozin, B., vd. (2012). Comparative analysis of phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activity of two closely related Plantain species: *Plantago altissima* L. and *Plantago lanceolata* L. *LWT — Food Science and Technology*, 47, 64-70.
- Caleja, C., Ribeiro, A., Filomena Barreiro, M., ve CFR Ferreira, I. (2017). Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients. *Current pharmaceutical design*, 23(19), 2787-2806.
- Cao, H., Saroglu, O., Karadag, A., Diaconeasa, Z., Zoccatelli, G., Conte-Junior, C. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Ou, J., Bai, W., Zamarioli, C. M., de Freitas, L. A. P., Shpigelman, A., Campelo, P. H., Capanoglu, E., Hii, C. L., Jafari, S. M., Qi, Y., Liao, P., Wang, M., Zou, L., Bourke, P., Simal-Gandara, J. ve Xiao, J. (2021). Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. *Food Frontiers*, 2(2), 109-139.
- Chen, X., Li, H., Zhang, B., ve Deng, Z. (2022). The synergistic and antagonistic antioxidant interactions of dietary phytochemical combinations. Critical reviews in food science and nutrition, 62(20), 5658-5677.
- do Carmo Brito, B. D. N., Chisté, R. C., da Silva Pena, R., Gloria, M. B. A., ve Lopes, A. S. (2017). Bioactive amines and phenolic compounds in cocoa beans are affected by fermentation. *Food Chemistry*, 228, 484-490.
- Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E. B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A. A., Novellino, E. ve Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, 33(9), 2221-2243.
- Graf, B. A., Milbury, P. E., ve Blumberg, J. B. (2005). Flavonols, flavones, flavanones, and human health: Epidemiological evidence. *Journal of Medicinal Food*, 8(3), 281-290.

- Günel-Köroğlu, D., Yılmaz, H., Turan, S., ve Capanoglu, E. (2022). Exploring the lentil protein and onion skin phenolics interaction by fluorescence quenching method. *Food Bioscience*, 50, 102000.
- Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S., ve Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits—an overview. *International journal of food science and technology*, 47(10), 2023-2044.
- Harnly, J. M., Bhagwat, S., ve Lin, L. Z. (2007). Profiling methods for the determination of phenolic compounds in foods and dietary supplements. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 389, 47–61.
- Hayes, M., ve García-Vaquero, M. (2016). Bioactive compounds from fermented food products. *Novel Food Fermentation Technologies*, 293-310.
- Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R., ve Ferreira, I. C. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food chemistry*, 173, 501-513.
- Ignat, I., Volf, I., ve Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food chemistry*, 126(4), 1821-1835.
- Imeh, U., ve Khokhar, S. (2002). Distribution of conjugated and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(22), 6301-6306.
- Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., ve Grześkowiak, T. (2021). Phenolic compounds in coffee and tea beverages. *Analytical methods in the determination of bioactive compounds and elements in food*, 31-81.
- Kanakakis, C. D., Hasni, I., Bourassa, P., Hamdani, S., Tarantilis, P. A., ve Tajmir-Riahi, H. A. (2011). Milk β -lactoglobulin complexes with tea polyphenols. *Food Chemistry*, 127, 1046–1055.
- Kasote, D., Tiozon Jr, R. N., Sartagoda, K. J. D., Itagi, H., Roy, P., Kohli, A., Regina, A. ve Sreenivasulu, N. (2021). Food processing technologies to develop functional foods with enriched bioactive phenolic compounds in cereals. *Frontiers in Plant Science*, 12, 771276.
- Lv, Q. Z., Long, J. T., Gong, Z. F., Nong, K. Y., Liang, X. M., Qin, T., Huang, W. ve Yang, L. (2021). Current state of knowledge on the antioxidant effects and mechanisms of action of polyphenolic compounds. *Natural Product Communications*, 16(7), 1934578X211027745.
- Ma, F., Lin, Y., Ni, Z., Chen, T., ve Wang, X. (2023). Therapeutic effects of natural polyphenols on colorectal adenomas: Focus on preclinical studies. *Oncology Reports*, 49(6), 1-22.
- Macheix, J. J. (2018). *Fruit phenolics*. CRC press.
- Mark, R., Lyu, X., Lee, J. J., Parra-Saldívar, R., ve Chen, W. N. (2019). Sustainable production of natural phenolics for functional food applications. *Journal of Functional Foods*, 57, 233-254.

- Martín, M. Á., ve Ramos, S. (2017). Health beneficial effects of cocoa phenolic compounds: A mini-review. *Current Opinion in Food Science*, 14, 20-25.
- Melini, E., ve Melini, V. (2021). Impact of fermentation on phenolic compounds and antioxidant capacity of quinoa. *Fermentation*, 7(1), 20.
- Mir-Cerdà, A., Nunez, O., Granados, M., Sentellas, S., ve Saurina, J. (2023). An overview of the extraction and characterization of bioactive phenolic compounds from agri-food waste within the framework of circular bioeconomy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 161, 116994.
- Neuenfeldt, N. H., de Moraes, D. P., de Deus, C., Barcia, M. T., ve de Menezes, C. R. (2022). Blueberry phenolic composition and improved stability by microencapsulation. *Food and Bioprocess Technology*, 15(4), 750-767.
- Oluwole, O., Fernando, W. B., Lumanlan, J., Ademuyiwa, O., ve Jayasena, V. (2022). Role of phenolic acid, tannins, stilbenes, lignans and flavonoids in human health—a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 6326-6335.
- Ozdal, T., Capanoglu, E., ve Altay, F. (2013). A review on protein–phenolic interactions and associated changes. *Food Research International*, 53(2), 957-970.
- Rashmi, H. B., ve Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298.
- Rawel, H. A., Meidtner, K., ve Kroll, J. (2005). Binding of selected phenolic compounds to proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4228–4235.
- Rawel, H. M., Czajka, D., Rohn, S., ve Kroll, J. (2002). Interactions of different phenolic acids and flavonoids with soy proteins. *European Food Research and Technology*, 214(1), 40-47.
- Roshanpour, S., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., ve Alaei, S. (2021). Improving antioxidant effect of phenolic extract of *Mentha piperita* using nanoencapsulation process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 23-32.
- Saricaoglu, B., Yilmaz, H., Subaşı, B. G., ve Capanoglu, E. (2023). Effect of de-phenolization on protein-phenolic interactions of sunflower protein isolate. *Food Research International*, 164, 112345.
- Scalbert, A., ve Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *Journal of Nutrition*, 130, 2073–2085.
- Silva, J. C., Rodrigues, S., Feas, X., ve Estevinho, L. M. (2012). Antimicrobial activity, phenolic profile, and role in the inflammation of propolis. *Food and Chemical Toxicology*, 50, 1790–1795.

- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., ve Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*, 101, 1-16.
- Smith, A. W. (2012). Lipid-protein interactions in biological membranes: A dynamic perspective. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1818, 172-177.
- Subbiah, V., Xie, C., Dunshea, F. R., Barrow, C. J., ve Suleria, H. A. (2023). The quest for phenolic compounds from seaweed: Nutrition, biological activities and applications. *Food Reviews International*, 39(8), 5786-5813.
- Topolska, K., Florkiewicz, A., ve Filipiak-Florkiewicz, A. (2021). Functional food—Consumer motivations and expectations. *International journal of environmental research and public health*, 18(10), 5327.
- Van Hung, P. (2016). Phenolic compounds of cereals and their antioxidant capacity. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(1), 25-35.
- Wróblewska, B., Kuliga, A., ve Wnorowska, K. (2023). Bioactive dairy-fermented products and phenolic compounds: Together or apart. *Molecules*, 28(24), 8081.
- Xu, M., Rao, J., ve Chen, B. (2020). Phenolic compounds in germinated cereal and pulse seeds: Classification, transformation, and metabolic process. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(5), 740-759.
- Zhang, H., Tsao, R., ve Yang, R. (2020). Interactions between phenolic compounds and food macronutrients: Characterization, influence on digestion and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(4), 653-675.
- Zhang, Q., Cheng, Z., Wang, Y., ve Fu, L. (2021). Dietary protein-phenolic interactions: Characterization, biochemical-physiological consequences, and potential food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3589-3615.
- Zhang, Y., Xiao, H., Lv, X., Wang, D., Chen, H., ve Wei, F. (2022). Comprehensive review of composition distribution and advances in profiling of phenolic compounds in oilseeds. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1044871.
- Zimmer, A. R., Leonardi, B., Miron, D., Schapoval, E., Oliveira, J. R., ve Gosmann, G. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Cap-sicum baccatum*: From traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*, 139, 228-233.